

## センサネットワークによる高精度測位のためのビーコンノード選択手法の評価

高橋 健介<sup>†</sup> 横田 裕介<sup>††</sup> 大久保 英嗣<sup>††</sup><sup>†</sup>立命館大学理工学部 <sup>††</sup>立命館大学情報理工学部

## 1 はじめに

近年の技術革新により、無線デバイスの小型化や低コスト化に伴い、小型センサを用いて情報収集を行うセンサネットワークの研究が進められている。センサネットワークが取得した情報を活用するためには、情報を取得する位置の特定が重要である。そのため、センサネットワーク上のノードが互いに通信し、自身の位置情報を計算で求める、測位に関する様々な研究が行われている。

センサネットワークにおける測位の精度は、センサノード間の距離情報の誤差やセンサノードの数、位置関係といった因子が影響し合う。これらの因子を原因として発生する測位誤差を解決する方法として Multilateration[1] が提案されているが、誤差を完全に除去することは本質的に不可能である。測位誤差を軽減することにより、測位精度の向上を図ることがセンサネットワークにおける測位では求められている。

また、複数の未知ノードの測位を行う場合、センサノードのコスト面や配置労力を考慮すると、少数のビーコンノードで測位を行うことが理想的である。そのため、測位を終えた未知ノードをビーコンノードとして次の測位に利用する手法として、Iterative Multilateration[1] が提案されている。しかし、測位を終えた未知ノードの位置情報には誤差が含まれている可能性が高いため、測位を進めるとに誤差が蓄積・増大し、測位精度が低下していく。測位誤差の蓄積・増大を抑えることで、初期配置に必要なビーコンノード数を減らすことが可能となる。少数のビーコンノードによって、精度の高い測位を実現することが、センサネットワークにおける測位の課題である。

これらの測位誤差を軽減する手法として、我々はこれまでにビーコンノード選択手法 [2] を提案している。この手法では、因子の影響の度合いを指標として数値化し、これに基づいて測位に利用するセンサノードの組合せを選択することで、精度の高い測位を実現する。また、測位誤差の程度を表す指標を比較し、測位を行うセンサノードを選択することで、測位誤差の伝播・蓄積を軽減する。

[2] では、二次元環境におけるひとつの未知ノードを測位対象とした場合の、測位に利用するビーコンノードを選択するアルゴリズムの有用性のみを検証している。これは、提案した手法の一部分を実際に検証したことに相当する。本研究では、複数の未知ノードを測位対象とし、提案手法全体を検証する。本論文では、三次元環境にお

けるビーコンノード選択手法全般の有用性を検証するために、ビーコンノード選択手法を適用したシステムを実装し、センサノードを用いた実験による評価を行った。

以下、2 章ではビーコンノード選択手法の概要について、3 章では設計と実装について、4 章では実験と評価について述べ、5 章で結論を述べ、本論文のまとめとする。

## 2 ビーコンノード選択手法

ビーコンノード選択手法は、測位誤差の程度を表す指標により、利用するビーコンノードを選択し、センサネットワークにおける測位誤差を軽減する手法である。また、未知ノードが複数存在する場合、指標を用いて測位順序を決定することで測位誤差を軽減する。測位に利用するビーコンノード数を  $n$ 、未知ノードとビーコンノードの重心間の距離を  $d$ 、測位誤差の程度を表す指標を  $E$  とすると、 $E$  は以下のように表される。

$$E = \frac{1}{n} \cdot d^2 \quad (1)$$

以下に手順を示す。

1. ある未知ノードに対して通信可能なビーコンノードの中から組合せ可能な全パターンを導出する。
2. ビーコンノードの組合せそれぞれに対して測位誤差の程度を表す指標  $E$  を導く。
3. 最小な  $E$  を対象未知ノードの最小な指標値とする。
4. ネットワーク全体に存在する全ての未知ノードに対して 1~3 の手順を実行する。
5. 全ての未知ノードに対する最小誤差推定値  $E$  を比較し、最も値の小さい未知ノードの測位を行う。
6. 測位を終えた未知ノードをビーコンノードに加える。

1~6 の手順を繰り返すことにより、ネットワーク全体における測位において、大きな誤差が発生する可能性を最小限に抑えた測位が可能となる。

## 3 設計

ビーコンノード選択手法を適用した測位システムの構成を図 1 に示す。測位システムは、センサネットワーク、サーバ、アプリケーションの 3 つから構成される。

センサネットワークは、センサノード間の距離情報を収集し、サーバに送信する。センサネットワークは、センサノード Cricket[3] を利用する。Cricket は、未知ノードとビーコンノード間の距離情報を、未知ノードと PC をシリアルケーブルで接続して取得する。しかし、本論文

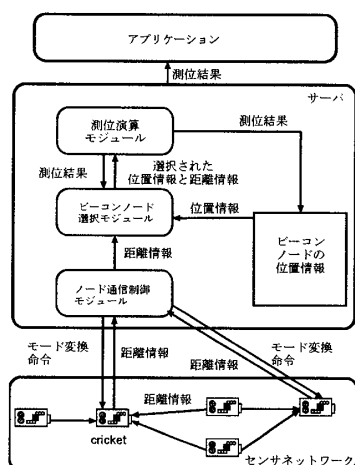


図 1 ビーコンノード選択手法を適用したシステムの構成

では複数の未知ノードが対象とするため、複数のシリアルケーブルを PC と接続する必要がある。PC 側のインタフェースが不足する問題や、複数の有線で PC に接続される状態は、現実的でないという問題が発生するため、Bluetooth-シリアル変換デバイスを用いることで、未知ノードと PC が無線通信が可能となる。

サーバは、センサネットワークによって集められた距離情報と、あらかじめ記録しておいたビーコンノードの位置情報を基に、測位計算を行い、ビーコンノード情報に追加する。さらに、Cricket にモード変換命令を送信する。モード変換命令により、未知ノードをビーコンノードとして利用することが可能となる。測位が完了した後、測位結果をアプリケーションに送信する。サーバには、ノード通信制御モジュール、ビーコンノード選択モジュール、測位演算モジュールを実装する。言語は C 言語を利用した。また、サーバの OS として、Windows2000 を使用した。

#### 4 評価

ビーコンノード選択手法を適用したシステムを用いて、ビーコンノード選択手法のアルゴリズムの検証実験と精度評価実験を行った。本論文では、精度評価実験について示す。Iterative Multilateration を適用した場合 (測位 1) と、ビーコンノード選択手法を適用した場合 (測位 2) の測位精度比較実験を行った。測位 1 では、未知ノードの測位順序はランダムに選ぶものとする。

図 2 のように、6 つのビーコンノード A, C, D, E, F, G, 4 つの未知ノード  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  を配置し、測位を行った。ノード A, C~F を天井に、ノード G をテーブル上に設置した。天井・テーブルの Z 座標をそれぞれ、0, 168 とする。

それぞれの測位において、200 回の計測を行った。誤差は、実際の未知ノードの位置と計算された未知ノードの位置の距離で表される。

表 1 の結果より、測位 1, 測位 2 の平均誤差の平均は

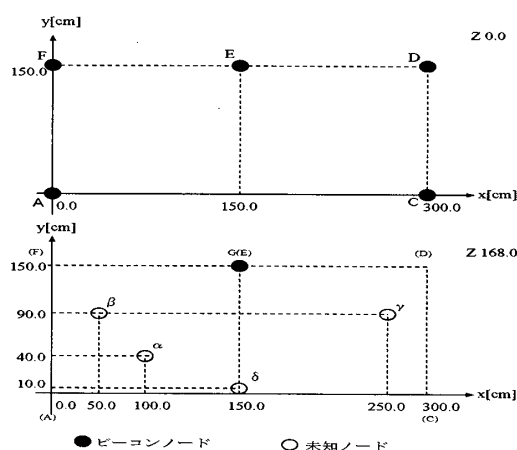


図 2 精度評価実験におけるノード配置

表 1 ビーコンノード選択手法の精度評価実験の結果

未知ノード	測位 1	測位 2	測位順序		
			回数	回数	
$\alpha$	最大誤差 [cm]	180.276	31.998	$\beta\gamma\alpha\delta$	102
	平均誤差 [cm]	2.569	1.737	$\gamma\beta\alpha\delta$	63
	標準偏差 [cm]	0.313	0.204	$\beta\alpha\gamma\delta$	13
$\beta$	最大誤差 [cm]	217.034	22.800	$\gamma\alpha\beta\delta$	9
	平均誤差 [cm]	3.237	1.325	$\alpha\beta\gamma\delta$	7
	標準偏差 [cm]	0.410	0.169	$\beta\gamma\delta\alpha$	2
$\gamma$	最大誤差 [cm]	260.224	6.816	$\alpha\gamma\beta\delta$	2
	平均誤差 [cm]	3.550	0.710	$\alpha\gamma\beta\delta$	2
	標準偏差 [cm]	0.457	0.081	$\gamma\beta\delta\alpha$	1
$\delta$	最大誤差 [cm]	227.439	243.687	$\beta\delta\gamma\alpha$	1
	平均誤差 [cm]	4.277	4.034		
	標準偏差 [cm]	0.451	0.724		

それぞれ、2.766[cm], 1.952[cm] であり、このことと測位を終えた未知ノードをビーコンノードとして利用する測位では誤差が増大していく可能性が高いことから、ビーコンノード選択手法を用いた測位の方が、Iterative Multilateration よりもネットワーク全体としての精度の高い測位が可能であることが示された。

#### 5 おわりに

本稿では、ビーコンノード選択手法の測位精度評価実験について述べた。ビーコンノード選択手法を用いることにより、従来手法をそのまま適用する場合に比べて精度の高い測位が実現可能であることが確認された。今後は、さらに、測位に影響を与える因子を見つけ出し、指標を拡張する予定である。

#### 参考文献

- [1] Savvides, A., Han, C.-C. and Strivastava, M. B.: Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors, *MobiCom '01: Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, ACM, pp. 166-179 (2001).
- [2] 寺嶋邦浩, 鈴木和久, 横田裕介, 大久保英嗣: センサノードの測位精度向上を目的とするビーコンノードの選択アルゴリズム, *情報処理学会研究報告, 2008-MBL-44/2008-UBI-17*, pp. 33-44 (2008).
- [3] Priyantha, N. B., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H.: The Cricket location-support system, *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, ACM, pp. 32-43 (2000).